

Зраенко С.М., Тюренок В.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ПАНХРОМАТИЧЕСКИХ И ЦВЕТОСИНТЕЗИРОВАННЫХ RGB ИЗОБРАЖЕНИЙ СПЕКТРОРАДИОМЕТРА MODIS В ППП ENVI

z_sm@mail.ru

ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

г. Екатеринбург

Представлены результаты по формированию панхроматических и цветосинтезированных RGB изображений произвольных каналов спектрорадиометра MODIS с использованием пакетов прикладных программ IMAPP и ENVI.

The results on formation of panchromatic and RGB images of arbitrary channels of MODIS spectroradiometer with use of IMAPP and ENVI applied programs packages are presented.

В настоящее время большой объем оперативной информации о процессах, происходящих на поверхности Земли, поступает от орбитальных датчиков, регистрирующих отраженное и собственное излучение объектов в различных спектральных диапазонах в виде изображений или радиоголограмм.

Одним из таких сенсоров является спектрорадиометр MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), который является одним из основных съемочных приборов, установленных на борту американских спутников TERRA (на орбите с 1999 г.) и AQUA (на орбите с 2002 г), осуществляющих исследования Земли из космоса по программе EOS (Earth Observing System) национального аэрокосмического агентства (NASA) США.

MODIS относится к гиперспектральным радиометрам. Съемка выполняется в полосе 2330 километров одновременно в 36 спектральных зонах видимого, ближнего, среднего и теплового ИК диапазонов с пространственным разрешением 250, 500 и 1000 метров и радиометрическим разрешением - 12-бит на канал. Для практического использования данных MODIS разработаны алгоритмы обработки первичных данных радиометра и 44 стандартных информационных продукта. Стандартные продукты подразделяются по уровням обработки. При их формировании выделяются 3 этапа:

- формирование базовых продуктов уровней обработки от *Level0* до *Level1B*;
- формирование тематических продуктов для научных исследований;
- формирование конечных продуктов для широкого круга пользователей.

К базовым продуктам относятся продукты уровней *Level0*, *Level1A* и *Level1B*.

Продукты уровня *Level0* (файлы PDS) – это поток данных MODIS записанных так, как они формируются радиометром на борту спутника.

Продукты уровня *Level1A* (продукт MOD01) являются результатом распаковки данных формата *Level0* в иерархический формат данных HDF.

Продукты уровня *Level1B* - результат калибровки данных MODIS. При преобразовании из уровня 1A в уровень 1B данные разного пространственного разрешения разделяются на 4 файла:

- MOD021KM (данные всех 36 каналов, приведенные к разрешению 1 км);
- MOD02HKM (данные с 1 по 7 канал, приведенные к разрешению 500 м);
- MOD02QKM (данные 1 и 2 каналов с разрешением 250 м);
- MOD02OVC (бортовые калибровочные данные).

Для географической привязки данных MODIS предназначен продукт MOD03, который содержит массивы значений широты, долготы и высоты над уровнем моря, углы сканирования, угол солнца, маску вода-суша и другую информацию для каждого пиксела с разрешением 1 км. Файл MOD03 может быть получен двумя способами:

- а) с использованием эфемерид спутника и дополнительной информации, передаваемой непосредственно в потоке бортовой телеметрии.
- б) с использованием эфемерид и данных об ориентации спутника, предоставляемых службами управления.

К тематическими продуктами MODIS для научных исследований относятся, например, *маска облаков* – распределение облачного покрова днем и ночью с разрешением 1км; *маски растительности и почвенного покрова*; *маски температуры поверхности* и другие.

Тематические продукты конечного потребления представляются в виде тематических карт, схем, сопровождаемых легендой и другой атрибутивной информацией, а также векторных файлов, готовых к интеграции в пользовательские геоинформационные системы.

Для первичной и тематической обработки данных дистанционного зондирования существует множество специализированных пакетов прикладных программ (ППП): Erdas Imagine, ENVI, PCI Geomatica, Photomod, ER Mapper, Idrisi и др. Для формирования изображений спектрорадиометра MODIS был выбран ППП ENVI 4.4, приобретенный для лаборатории «Геоинформационных технологий и дистанционного зондирования» Радиотехнического института – РТФ Уральского государственного технического университета – УПИ для выполнения инновационной образовательной программы «Формирование профессиональных компетенций выпускников на основе научно-образовательных центров для базовых отраслей Уральского региона», финансирование которой началось в 2007 году. Выбор данного продукта связан с тем, что программный комплекс ENVI включает наиболее полный набор функций для обработки данных дистанционного зондирования и их интеграции с данными ГИС. Основные области, в которых используется ENVI: дистанционное зондирование и картография, метеорология, сельское и лесное хозяйство и многие другие.

Для первоначального ознакомления студентов с пакетом им предлагается изучить особенности входных данных MODIS и возможности ENVI по формированию из них панхроматических и цветосинтезированных (RGB) изображе-

ний произвольных каналов. Исходными являются данные 3-х каналов разного пространственного разрешения (250, 500 и 1000 м) из которых требуется построить RGB изображение с разрешением 250 м.

При формировании RGB-изображения в ППП ENVI требуется осуществить операции по предварительному преобразованию полученных от сенсора данных – распаковку, географическую привязку и радиометрическую калибровку которые выполняются средствами дополнительного пакета программ IMAPP. Пакет программ IMAPP (International MODIS/AIRS Processing Package) предназначен для преобразования данных сканера MODIS из файлов формата *Level0* (PDS) в продукты уровней *Level1A* и *Level1B*. Пакет был создан в Космическом научно-инженерном центре (SSEC) Висконсинского университета (США) на основе рабочего программного обеспечения обработки данных MODIS и распространяется бесплатно на условиях лицензии GNU General Public License.

Пакет IMAPP используют для обработки данных MODIS уровня *Level0* (PDS), полученных в режиме прямого вещания (Direct Broadcast). Эта обработка включает следующие операции:

- преобразование данных, представляющих собой последовательность CCSDS пакетов (уровня *Level0*), в файл формата HDF (*Level1A*),
- расчет географической привязки и геометрических параметров съемки для каждого пикселя километрового разрешения,
- калибровка данных MODIS в значения спектральной плотности энергетической яркости.

Пакет IMAPP включает в себя следующие программы:

1. распаковки данных - *unpack.exe*. Программа предназначена для распаковки данных уровня *Level0* в файлы уровня *Level1A* в формате HDF. Файл данных MODIS уровня *Level0* содержит последовательность CCSDS пакетов, восстановленных из сигнала, принятого с борта спутника. В терминологии EOSDIS такой файл (точнее, набор файлов) называется Production Data Set (PDS). Файл данных MODIS уровня *Level1A* представляет собой стандартный продукт EOSDIS с кодовым названием MOD01. Он имеет формат HDF и содержит массивы данных, полученных детекторами, и данные бортовой телеметрии;
2. геолокации - *geolocate.exe*. Программа осуществляет географическую привязку файла данных MODIS и создает файл формата HDF, содержащий массивы значений широты и долготы, а также углы сканирования для каждого пикселя с разрешением 1 км. Выходной файл является продуктом MOD03 по номенклатуре EOS. IMAPP может вычислить поля геолокации, используя эфемериды спутника и дополнительную информацию, передаваемую непосредственно в потоке бортовой телеметрии. Это позволяет проводить привязку сразу после получения данных. К сожалению, информация, передаваемая в режиме прямого вещания (DB), может

содержать погрешности, которые не позволяют гарантировать точность привязки лучше чем 10 км. Пакет IMAPP позволяет также использовать точные эфемериды и данные об ориентации, получаемые и предоставляемые службами управления орбитальным сегментом. Благодаря использованию этих данных точность привязки может быть повышена до 1 км. Недостаток использования точных данных заключается в том, что они имеют значительный объем и доступны только через несколько дней после приема.

3. калибровки - *calibrate.exe*. Последняя из трех основных программ пакета IMAPP предназначена для калибровки данных MODIS в абсолютные значения спектральной плотности энергетической яркости (в единицах Вт м⁻² мкм⁻¹ стер⁻¹). В результате создается стандартный продукт MOD02, который содержит четыре поименованных ранее файла: MOD02QKM, MOD02HKM, MOD021KM, MOD02OBC.

В качестве входных программа калибровки использует файлы уровня *Level1A* и файлы геолокации, созданные на предыдущих этапах обработки.

Дальнейшая работа с данными производится в ППП ENVI. При этом вначале осуществляется привязка и геометрическая коррекция данных. Геометрическая коррекция предполагает взаимное пространственное совмещение разновременных спутниковых изображений, а также их преобразование в одну из стандартных картографических проекций. Пространственная привязка изображений выполняется с использованием данных о навигационных элементах спутников, вычисляемых по известному времени съемки с использованием соответствующих моделей орбиты. Уточнение пространственной привязки осуществляется на основе формирования сети опорных точек и трансформирования изображения в систему координат базовой карты. Трансформирование выполняется на основе линейных или нелинейных преобразований в зависимости от различий геометрических моделей исходных изображений, числа опорных точек и требуемой точности пространственной привязки. В случае существенных перепадов высот обследуемой территории и доступности цифровой модели рельефа на этапе геометрической коррекции также выполняется компенсация искажений изображения, связанных с влиянием этого фактора.

В дополнение к этому, особенностью снимков MODIS является то, что они состоят из сканов (полос высотой в 10, 20 или 40 пикселей, в зависимости от пространственного разрешения спектрального канала). Один скан – это один проход сканирующей линейки элементов, направленной к земле и совершающей повороты при сканировании поверхности. Угол охвата земной поверхности сканом, таким образом, меняется от минимума в середине (когда сканирующие элементы направлены в надир) до некоторого максимума на краях. Это приводит к тому, что вдоль границ скана идет разрыв географических координат, а также к частичному перекрытию полос на краях (*bow-tie effect*) – рис.1.

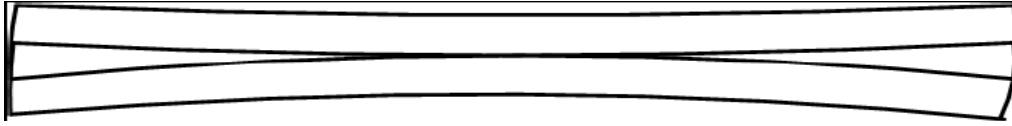


Рис. 1. Перекрывание двух сканов из сеанса со спутника Terra (прибор MODIS).

В качестве примера на рисунках 2 и 3 приведены изображения MODIS до и после коррекции.

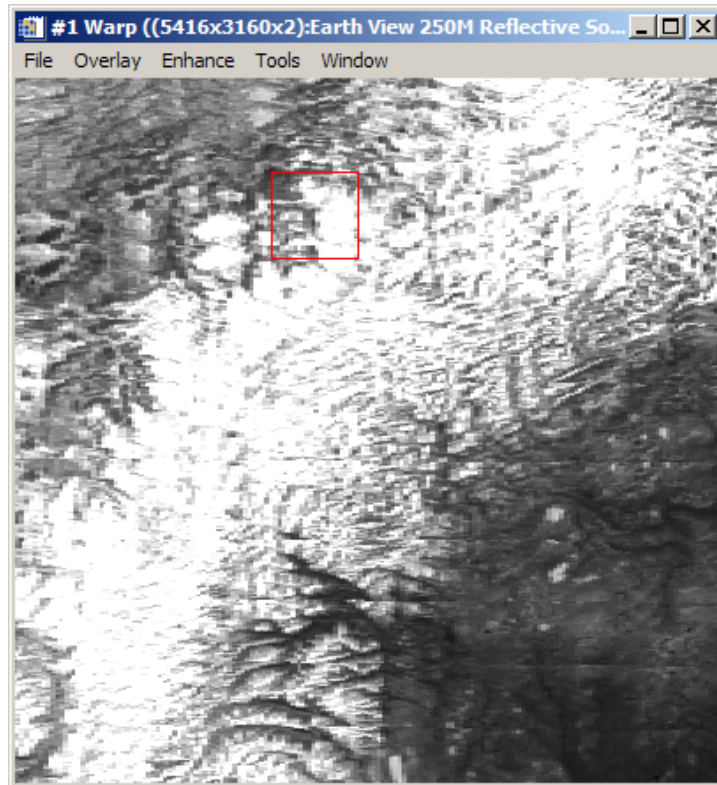


Рис. 2 Изображение без геометрической коррекции

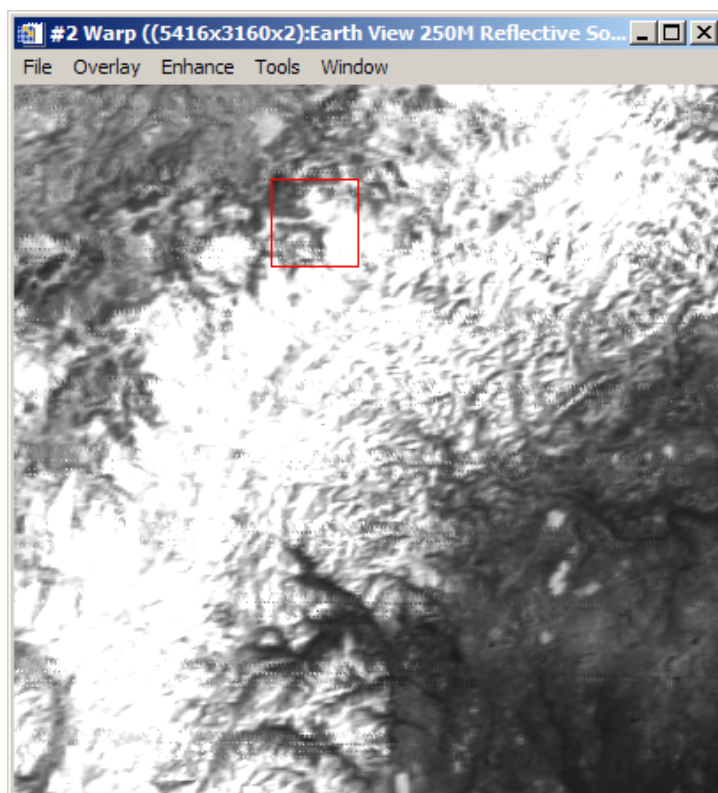


Рис. 3. Изображение после геометрической коррекции

Для выполнения дальнейших преобразований необходимо все изображения привести к одному пространственному разрешению. Это осуществляется с использованием функции *Resize Data*. Далее 3 изображения разных каналов одинакового размера объединяются для формирования синтезированного RGB изображения.

Для улучшения качества изображения осуществляется повышение пространственного разрешения с использованием операции *Image Sharpening* позволяющей объединить цветное изображение с низким разрешением с панхроматическим изображением высокого разрешения.

На рисунках 4 и 5 в качестве примеров, приведены изображения MODIS одного канала и цветосинтезированное RGB изображение.

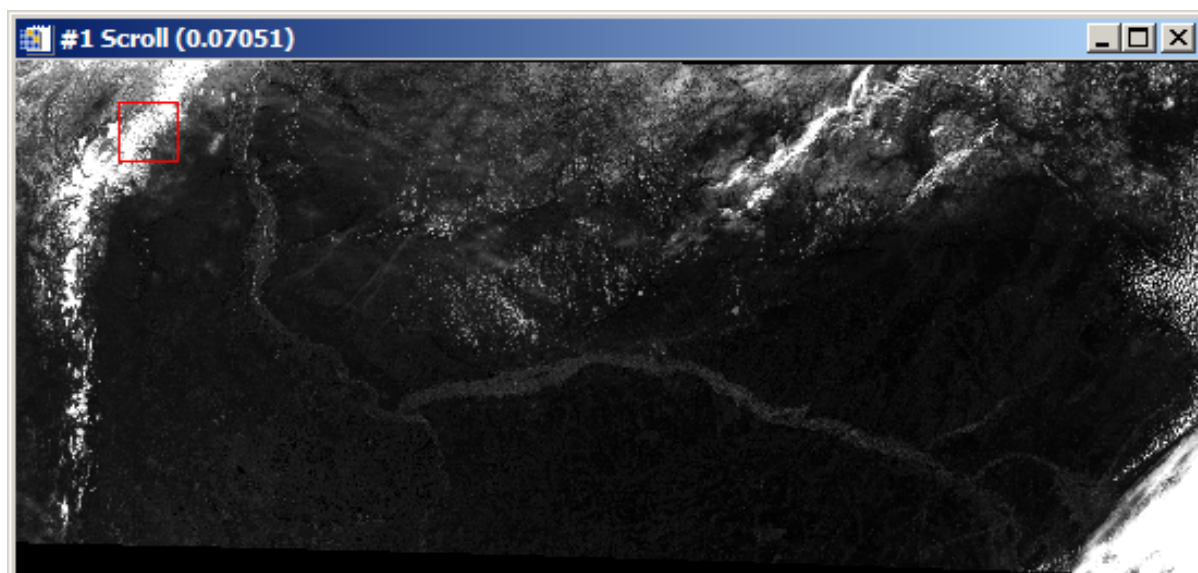


Рис. 4. Изображение одного канала MODIS

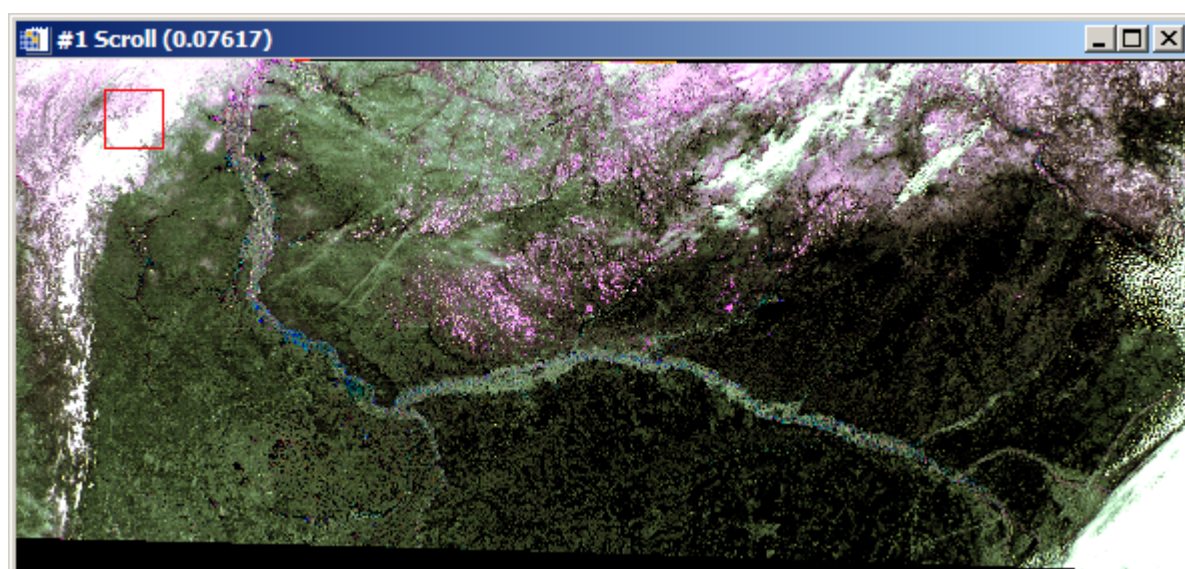


Рис. 5. Цветосинтезированное RGB изображение MODIS

1. Трансформация и привязка растровых данных в ImageWarp <http://gis-lab.info/qa/imagewarp.html>
2. <http://www.sovzond.ru/software/90/>